CONFIGURAÇÃO ESPACIAL DE EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO EXTREMA: INTERAÇÕES ENTRE AS ILHAS DE CALOR E A PENETRAÇÃO DAS BRISAS OCEÂNICAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Ailton Pinto ALVES FILHO[1]
Helena RIBEIRO[2]

RESUMO

Há poucas dúvidas no meio científico sobre a existência de padrões de circulação atmosféricos específicos nas cidades, que são responsáveis por alterações nas características das precipitações. Porém, estas mudanças variam muito de acordo com o porte, funções urbanas desempenhadas e dos ritmos atmosféricos associados a estas transformações.

Particularmente, no caso da Região Metropolitana de São Paulo, somam-se às perturbações atmosféricas geradas pelas variadas e profundas transformações geo-ecológicas que a metrópole é submetida, a influência da penetração da brisa marítima - decorrência das diferenças das propriedades térmicas no mar e na superfície terrestre.

Trabalhando-se com mapeamentos de núcleos de precipitação em diferentes intervalos de tempo, realizados a partir de dados do Radar Meteorológico de Ponte Nova e também com dados de superfície, chegou-se à conclusão de que, a despeito da configuração aparentemente caótica da distribuição das chuvas, sobretudo nos episódios convectivos, predominou um padrão de circulação local que privilegiou a concentração pluvial sobre a porção mais urbanizada da Região Metropolitana. Ficou notória, nessas situações, a presença de uma faixa de orientação norte-sul iniciando-se na porção central da cidade de São Paulo e terminando sobre o ABCD que se mostrou mais suscetível às variações citadas e por isso mesmo, mais sujeita aos eventos calamitosos.

A influência da umidade marítima ficou caracterizada principalmente nos casos em que a brisa penetrou após o período máximo de aquecimento da troposfera, por conta da radiação solar ou de influências antrópicas.

Chega-se finalmente à conclusão que o estabelecimento de modelos espaciais para caracterizar estes fenômenos, aproveitando-se das ferramentas supracitadas, podem se tornar extremamente úteis nos estudos de climatologia urbana.

INTRODUÇÃO

As grandes inundações ocorridas em 25 de maio de 2005 reabrem a discussão sobre o clima e as enchentes na Região Metropolitana de São Paulo. Neste episódio como em tantos outros, a metropole viveu situações de *caos* urbano, caracterizados pela paralização dos serviços públicos essenciais, pela perda de bens materiais por parte população e pelo o impedimento da circulação de pessoas e mercadorias, isolando a região metropolitana do restante do país. Foram frustadas ou pelo menos adiadas as expectativas do *fiim das enchentes* no Tietê, anunciadas pela publicidade governamental como resultado da ampliação da calha deste curso. Como é de praxe, nos dias subsequentes, quando a

1 Doutor emGeografia Física – FFLCH-USP - ailtonline@usp.br
2 Helena Ribeiro – Profa Livre Docente - FSP-USP - lena@usp.br

metropole contabiliza seus prejuizos, mas que são rapidamente esquecidos até que ocorra uma nova temporada de eventos calamitosos.

Para a sociedade em geral, evidencia-se a percepção de que o modelo de expansão urbano adotado nas grandes metrópoles é um dos responsáveis pelos graves problemas ambientais que as mesmas apresentam. O que fica menos claro e também pouco divulgado é a forma pelas quais essas modificações também repercutem na troposfera que envolve os grandes centros.

Um dos nossos desafios está em responder às freqüentes indagações formuladas pela sociedade sobre assunto. De que forma as atividades humanas nas grandes aglomerações urbanas, como a Região Metropolitana de São Paulo, podem influenciar na indução e na distribuição das chuvas? Como os fluxos convectivos irão interagir com as camadas de ar superiores e exercer influência sobre a intensidade e a distribuição das chuvas? De que maneira os ritmos climáticos sofrem alterações qualitativas e quantitativas ao combinarem as variações decorrentes das ações antrópicas por um lado com elementos naturais por outro? Como mensurar todos esses fenômenos?

A Geografia e em especial a Climatologia tem um papel importante na compreensão de todos esses fenômenos. A abordagem geográfica do clima possibilita dimensionar as variáveis que interferem no processo, avaliando-las dentro de uma escala temporal-espacial adequada.

A busca pela compreensão dos mecanismos desencadeadores de eventos pluviais calamitosos passa necessariamente pela análise da interação entre os aspectos horizontais/ urbanos (tais como os padrões de uso do solo, presença ou ausência de áreas verdes, densidade de áreas edificadas, exposição das vertentes, albedo) com os processos verticais / atmosféricos (balanço de calor, de ventilação, presença de partículas de poluentes). Somem-se a todos estes dados, as situações específicas dos diversos compartimentos que compõem o sítio metropolitano, tais como rugosidade do relevo, efeito orográfico ou proximidade de represas e teremos um quadro bastante complexo.

Portanto, fica para a climatologia uma das incumbências mais difíceis, que é a compreensão da espacialidade e da temporalidade dos fenômenos geográficos, desvendando a dinâmica dos processos que ocorrem na superfície e na atmosfera, bem como suas diversas interações.

Uma questão sempre presente nos estudos climatológicos é abordagem da escala. Com certeza esta preocupação também ocorre em outros ramos de atuação da Geografia, no entanto nos estudos sobre clima a presença de fenômenos com gêneses e grandezas distintas ocorrendo no mesmo palco de análise, torna esta preocupação ainda mais premente. Desta definição depende não somente a escolha da representação cartográfica mais adequada, como também o estabelecimento dos limites de aprofundamento para a compreensão dos fenômenos que se está propondo a investigar. Monteiro (1976), na sua tese de livre docência sobre clima urbano deixou clara idéia, que aqui foi incorporada, que as escalas do clima são articuladas entre si, não sendo necessário para a compreensão do todo para a análise de cada elemento formador desta totalidade, basta apenas que conheçamos os mecanismos que as organizam. Desta forma, não é necessária a apreciação intrínseca de todos os climas locais encontrados na bacia do Tietê para compreender o clima da Região Metropolitana São Paulo, uma vez que ele exerce influência e também é influenciado por outros climas locais adjacentes a partir da combinação das variáveis rítmicas. Pode-se dizer que cada clima local presente na Bacia do Alto Tietê interage com os demais de forma distinta em cada evento, no entanto podem ser identificadas algumas áreas que estão sistematicamente envolvidas na maioria dos episódios de chuvas intensas como foi observado por Alves Filho (1996).

Este trabalho propõe investigar as características do clima urbano da metrópole paulistana que contribuam para a formação de chuvas urbanas e a sua interação com demais influências supracitadas.

OBJETIVOS

Contribuir com o aporte de novas vias metodológicas e de novas técnicas de tratamento de dados para a análise climática dentro de uma perspectiva geográfica. Analisar os processos desencadeadores de chuvas intensas dentro da mancha urbana contínua da Metrópole de forma a estabelecer relações entre os ritmos climáticos, os ritmo das atividades humanas e os demais elementos característicos do meio físico, nas suas diferentes escalas.

MÉTODOS e TÉCNICAS

Nas grandes cidades dos países tropicais, a atmosfera é normalmente submetida a grandes aquecimentos na medida em que se combinam as radiações solares intensas com as formas antropogênicas de produção de calor. Nestas condições, formam-se comumente chuvas convectivas de grande intensidade, notadamente no período do verão. Essas precipitações podem provocar repentino aumento da vazão de cheia nos rios e causar grandes enchentes. Mas os episódios de inundações não são apenas decorrências deste padrão de chuvas. Precipitações provocadas pela ação prolongada de um sistema semi-estacionário ou pela atuação ciclônica mais intensa numa FPA podem surtir efeito semelhante, ou seja, podem causar inundações e grande desorganização urbana. Isto é particularmente verdadeiro para São Paulo. A posição da RMSP numa área de transição, que sofre influências das principais correntes de circulação atmosféricas da América do Sul favorece a uma grande variabilidade climática de ano para ano. Dependendo da temperatura das correntes tropicais marítimas, dos fluxos polares, dos fluxos de provenientes do interior do continente e de suas combinações, teremos diferentes configurações espaciais dos fenômenos pluviais. Estes fatores que podem agir de forma convergente ou divergente, ou seja, potencializando ou amenizando a produção de chuvas. Quando ocorre a primeira hipótese normalmente irão suceder-se episódios de grande repercussão em termos de desorganização urbana.

Porem, desvendar os efeitos de urbanização sobre o aumento da precipitação não é uma tarefa fácil, uma vez que a formação de chuvas é altamente variável, tanto sobre o aspecto espacial quanto temporal. A partir dos dados pluviométricos do DAEE, Azevedo (2002) efetuou mapeamentos da distribuição dos totais diários de precipitação na RMSP e arredores, colhendo evidencias indiretas que há intensificação da precipitação nos dias úteis devido às atividades humanas realizadas na Grande São Paulo. Segundo o autor, a freqüência das precipitações acima de 20 mm seria da ordem de quarenta por cento maiores nos dias úteis, em relação aos feriados e fins de semana. Porem, este aumento não ocorreria exatamente sobre o centro da metrópole, pois as isoietas representativas de tal variação positiva, estariam mais evidenciadas à sudoeste da área metropolitana.

Na presente pesquisa, alguns mapeamentos confirmam o agrupamento pluvial na parte central e também a sudoeste da área metropolitana. Porém, se na maioria das situações rítmicas este processo é evidente em outras ele não fica tão caracterizado. Esta configuração espacial pode ser explicada pela forte influencia que a circulação marítima exerce sobre a metrópole. As brisas provenientes da ação catabática do vento chegam a São Paulo juntamente com partículas de sais marinhos e de poluentes trazidas pelas indústrias, caminhões, ônibus e demais veículos. Todos estes fatores contribuem para a formação das *chuvas urbanas* que muitas vezes acontecem entre o período da tarde e inicio da noite.

Numa apreciação apartada do mês de março de 1991, identifica-se que este mês foi provavelmente o obteve a maior pluviosidade de todo século para a cidade de São Paulo de acordo com os dados disponíveis. (Figura 1).

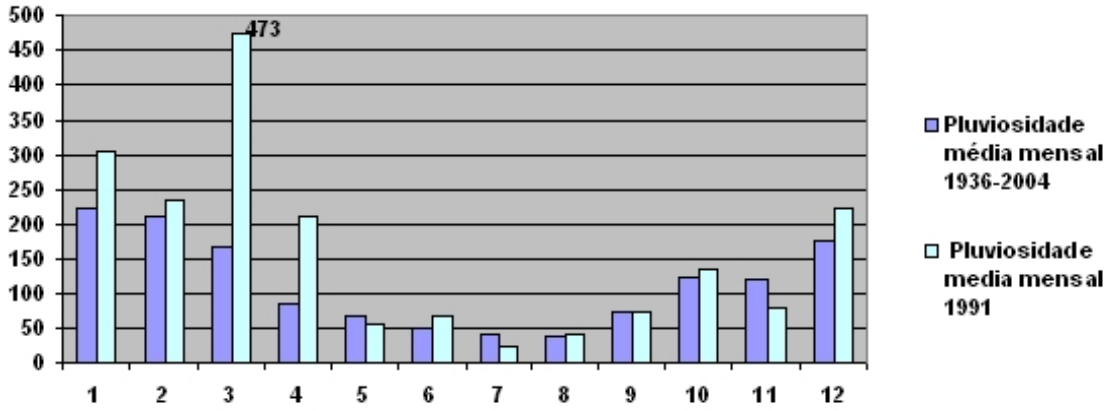
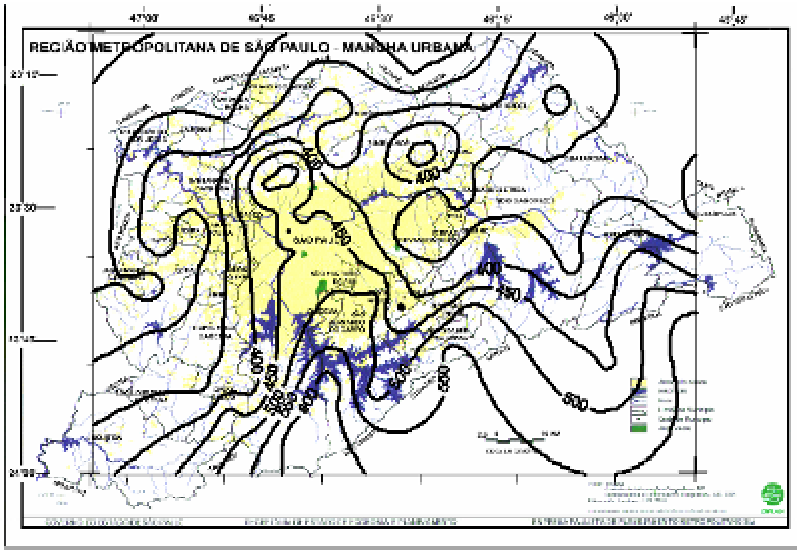


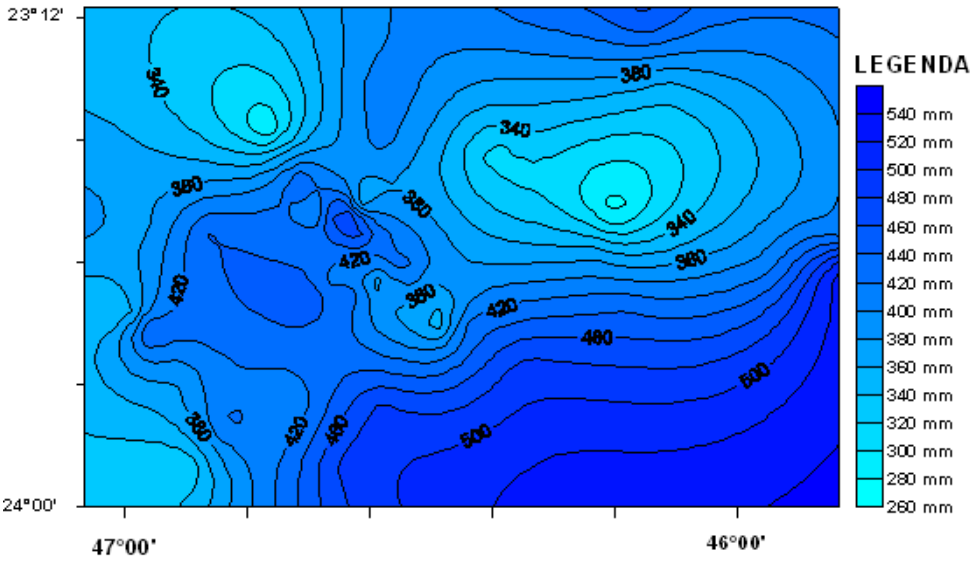
FIGURA 1- Histograma representativo da variação da pluviosidade média mensal na estação meteorológica do IAG-USP no período entre 1936 e 2004 e no ano de 1991(em mm). Fonte de dados pluviométricos: DAEE

Percebe-se a partir da representação cartográfica do acumulado de chuvas daquele mês (Cartograma 1), a configuração de uma *franja* que atravessa a região metropolitana e a cidade de São Paulo no sentido sul-norte. Esta *franja* é representativa da isoieta de 450 mm. Partindo do litoral esta isolinha, ultrapassa os reservatórios Billings e Guarapiranga e penetra pelo interior da bacia sedimentar, até atingir a base da Serra da Cantareira a norte Esta configuração pode ser explicada pela entrada da brisa marítima no continente e pela convergência de umidade. No caso, esta isoieta atinge o limite da mancha urbana ao norte, na base da Serra da Cantareira.



CARTOGRAMA 1 - Precipitação acumulada sobre a RMSP em março de 1991 - destacando-se a mancha urbana (isoietas em mm). Fonte: DAEE (dados pluviométricos) e EMPLASA (2003) base cartográfica digital.

Uma configuração espacial semelhante pôde ser observada em fevereiro de 1995 quando ocorreram fortes precipitações sobre as Regiões Sul e Sudeste do país, com a organização de convecções tropicais sobre o continente (ZCAS), principalmente no início do mês de fevereiro (Climanálise, 1995). Este mês foi o segundo mais chuvoso de toda série histórica da estação meteorológica do IAG-USP, totalizando 439,6 mm. A representação espacial da distribuição das chuvas segue o padrão de março de 1991, ou seja, ocorre uma concentração na pluvial na área central da metrópole que se estende até o litoral, atravessando a cidade de São Paulo no sentido nordeste noroeste-sudeste (Cartograma 2).



CARTOGRAMA 2 - Precipitação Acumulada Sobre a RMSP em fevereiro de 1995 (isoietas em mm). Fonte de dados pluviométricos: DAEE

O símbolo da situação de miséria urbana de 1995 foi representado pela experiência vivida pela população que ocupava (e ainda ocupa), uma área de risco próximo ao *Parque Ecológico* nas margens do Tietê à montante da capital, que foi denominada de *Favela Pantanal*, que foi alagada repetidas vezes naquele período.

Nestes dois casos fica notório o fenômeno da infiltração de umidade para o interior da bacia e sua influencia evidente sobre a precipitação na área metropolitana. Porém tanto num caso quanto no outro as configurações indicam tendências na configuração espacial que só podem ser confirmadas ou refutadas em escalas temporais menores.

De acordo com os estudos de Alves Filho (1996, 2003) os padrões mais heterogêneos de distribuição das chuvas ocorrem primordialmente nas situações provocadas por nuvens cumuloniformes, em relação àquelas produzidas por nuvens estratificadas. Estas últimas tendem a ser mais homogêneas concentrando-se na aproximação das rampas de relevo (efeito orográfico) enquanto que nas primeiras, a prevalência ocorre nas áreas mais centrais e urbanizadas.

Existe, porém um grande problema, pois a maioria dos estudos de climatologia tem disponíveis para análise os dados pluviométricos diários, cuja periodicidade é de vinte quatro horas, tempo excessivo, se considerarmos que usualmente as chuvas convectivas advêm de atividades meteóricas de duração muito menor. Tendo em mãos apenas estes recursos, fica muito difícil de avaliar alguns aspectos fundamentais relacionados com o comportamento de uma chuva convectiva tais como o seu eixo principal de deslocamento, sua origem, abrangência, duração, entre outros. Portanto, só um estudo realizado com uma abordagem que reflita variações horárias dos elementos do clima e suas interações com os mecanismos desencadeados nas escalas superiores poderá levar a um melhor conhecimento da ação das chuvas intensas sobre grandes áreas urbanas tropicais como é o caso da metrópole paulistana.

Os Radares meteorológicos são boas soluções para este tipo de análise, pois através deles é possível monitorar o deslocamento das células de chuvas e identificar as áreas onde há a prevalência do fenômeno. Destaca-se neste tipo de abordagem os estudos de Jáuregui; Romales (1996) que numa análise climatológica da Região Metropolitana da Cidade do México apontaram para significativo acréscimo na pluviosidade total e na intensidade pluvial (>20 mm h-1) na área central da metrópole em relação ao entorno. O movimento das células de chuvas foram também monitorados, de tal forma foi possível estimar a direção e a

velocidade núcleos convectivos, indicando as influências do aquecimento urbano na pluviosidade.

Porém como qualquer técnica, os radares também guardam certas limitações, uma vez que refletem apenas as características da atmosfera a uma dada altitude e o potencial para precipitação das nuvens. Já maneira pela qual esta precipitação irá ocorrer efetivamente, vai depender das informações coletadas na superfície. O ideal neste caso, é que estivessem instalados um grande número de registradores da intensidade das chuvas, que hoje são relativamente baratos e de fácil monitoramento remoto (por computador). Estes aparelhos deveriam ser alojados em pontos estratégico da RMSP no caminho das correntes de vento, de forma a acompanhar o deslocamento das brisas e da ilha de calor.

No presente estudo, mesmo sem contar com o aparato ideal, tentou-se seguir esta linha de procedimentos, ou seja, utilizar-se dos dados do radar juntamente com os dados de solo dos pluviógrafos disponíveis. Porém os pontos de controle mais confiáveis vieram dos dados da Estação Meteorológica de Congonhas que até por conta de sua função de monitoramento de aeronaves, gera informações de boa confiabilidade e precisão. No anexo deste estudo estão presentes dois exemplos desta abordagem. No Cartograma 4, elaborado a partir do tratamento dos dados do Radar Meteorológico de Ponte Nova, tem-se a representação do acumulado de uma hora momento mais intenso uma atividade convectiva pré-frontal. A concentração pluvial deste evento ocorreu na área central da cidade de São Paulo, ficando circunscrito à mancha urbana. Nas áreas rurais ou não urbanizadas sequer ocorreram chuvas, o que reforça a hipótese que precipitação ocorreu principalmente por fatores endógenos. Nas figuras 7 e 8 aparecem gráficos correspondentes aos dados da estação meteorológica de Congonhas para o mesmo dia, onde é possível notar que a entrada do vento sudeste responsável pelo carreamento de umidade e partículas higroscópicas ocorreu neste caso, próximo ao período máximo de aquecimento diário, o que favorece a atividade convectiva e a formação de Cúmulos Nimbus – CB.

Com essa metodologia foi possível estabelecer-se relações entre os fenômenos que ocorreram ao nível do solo com os aqueles presentes na atmosfera em altitude (CAPPI à três quilômetros). Dentre as conclusões que se pode chegar é que apesar das configurações aparentemente *caóticas* desencadeadas pela ação das linhas de instabilidades pré-frontais, por exemplo, alguns arranjos espaciais estiveram sempre presentes, como a formação de núcleos convectivos persistentes sobre o centro da metrópole paulistana.

No entanto para os casos estudados, houve uma consonância grande entre os dados colhidos sobre a superfície e aqueles registrados pelo radar, principalmente no que se refere ao período no qual ocorreram as precipitações e a área que foi afetada. Quanto à intensidade apurada pelo radar, há uma tendência a superestimação dos valores em relação aos encontrados na superfície. Isto é particularmente válido para as chuvas convectivas, principalmente com a presença de gelo nas nuvens (precipitadas na forma de granizo). Porém não se pode deixar de relevar que a varredura do aparelho é realizada de dez em dez minutos, portanto o radar revela uma situação momentânea que normalmente é mais intensa do que aquela apurada em intervalos maiores. Quando se toma uma média num intervalo de tempo maior, uma hora, por exemplo, os valores encontrados são mais próximos daqueles observados no solo. Entre os referenciais importantes para os estudos geográficos cujos recursos do radar permitem facilitar, estão aqueles referentes à distribuição e ao deslocamento horizontal das áreas de chuva ao longo de um evento pluvial, bem como o horário de ocorrência. Nestes casos, o radar mostrou-se um instrumento extremamente válido para a presente proposta de trabalho, principalmente quando se tratou de definir as diferenças na distribuição de chuvas entre as áreas urbanizadas e as áreas suburbanas ou rurais. Fazendo-se uso desta ferramenta, foi possível fundamentar melhor a gênese e as derivações locais e regionais em um evento pluvial.

RESULTADOS

Nos períodos analisados, percebe-se as influências de algumas características na distribuição das chuvas que são peculiares ao sitio urbano da RMSP tais como os ventos provenientes do oceano que atingem a bacia sedimentar no período da tarde ou ainda as características topográficas que favorecem a formação de chuvas orográficas ao norte da cidade de São Paulo onde Serra da Cantareira forma uma barreira, pois seu relevo é concordante à bacia do Alto Tietê. Também é possível conjeturar que a presença da infiltração marítima possa ser reforçada em algumas situações onde haja convergência de umidade.

A estas características, pode-se discutir a influência da *ilha de calor* da metrópole na intensificação na produção de chuvas não só pelo aquecimento das camadas de ar da baixa troposfera que aumentam a convecção, como também pela potencialização da ação das brisa marítima natural que sofre o reforço da *brisa artificial* produzida pela ilha de calor. Da mesma forma partículas de poluentes podem dependendo do horário da emissão favorecer a este processo.A hipótese que se levanta é que essa infiltração não se dá ao longo de toda a *zona de contato* entre a encosta serrana e a metrópole com a mesma intensidade. O local preferencial para esta infiltração se dá sobre os espelhos d'água das Represas do sistema Billings e Guarapiranga, ou seja, exatamente ao sul da cidade de São Paulo (Figura 4)

Num estudo elaborado a partir de simulações feitas em modelos digitais, Dias; Freitas (2002) chegaram a conclusões semelhantes. O estudo indicou que há um avanço mais rápido da brisa marítima na porção sudoeste da RMSP, enquanto que porção noroeste existe um pequeno atraso na sua chegada como conseqüência da circulação gerada pela ilha de calor. Além disso, devido a forte convergência no centro da cidade, a frente de brisa permanece na mesma posição por algumas horas.

Portanto certas características do sitio da RMSP tanto *naturais* quanto antropogênicas em determinadas situações favorecem a intensificação dos processos convectivos. As grandes inundações de 1991 ou de qualquer outro período histórico recente não podem ser vistas como situações *anômalas,* mas sim como conseqüência da interação destes fatores locais ou regionais com outros fatores dinâmicos de meso-escala e de grande escala.

A análise da distribuição da precipitação mensal acumulada permite caracterizar uma *tendência* que se observou naquele determinado mês, mas somente a observação numa escala temporal menor pôde identificar sua gênese e ritmos associados.

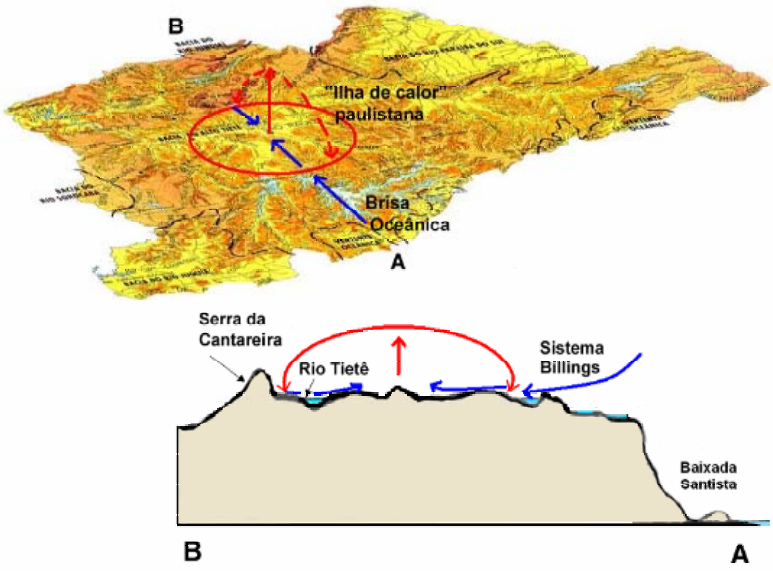


Figura 4– Modelo da Ilha de Calor da RMSP e a influência da Circulação Marítima. Fontes: Base Hipsométrica Governo do Estado de São Paulo - Atlas Regional, 1978 (distorcida).Ilustração:Ailton P. Alves Filho

Durante este estudo foram avaliados todos os eventos pluviais ocorridos entre primeiro de janeiro e trinta de abril de 1991 e posteriormente foram selecionados os dezessete mais relevantes em termos de intensidade, duração, abrangência e impactos socio-ambientais produzidos. Desta forma, considera-se extremamente relevante que muitos destes eventos ocorreram unicamente sobre a RMSP sendo que nas adjacências e áreas não urbanas, muitas vezes sequer chegou a chover. Em outras situações, as áreas de instabilidade acabaram convergindo para São Paulo. Já nos fenômenos de natureza mais abrangente em termos espaciais, como a passagem de um sistema frontal, normalmente a porção central da mancha urbana da Grande São Paulo foi a que apresentou a maior precipitação. Foram raros os casos onde o centro da metrópole não protagonizou os maiores impactos pluviais durante os episódios.

As imagens do radar, por conta de sua dinâmica e resolução não permitem avaliar as variações climáticas locais, mas são suficientes para uma abordagem sub-regional ou mesmo de meso-escala, detectando o deslocamento de núcleos convectivos e de suas relações de influência, inclusive antrópica. Além da concentração de núcleos precipitáveis sobre as áreas urbanas, outra característica que reforça a hipótese da influência das atividades humanas no processo de intensificação das chuvas, reside no fato que nenhum dos dezessete episódios ocorreu em dias não úteis, havendo uma maior concentração de casos nos primeiros dias úteis da semana (Figura 5).

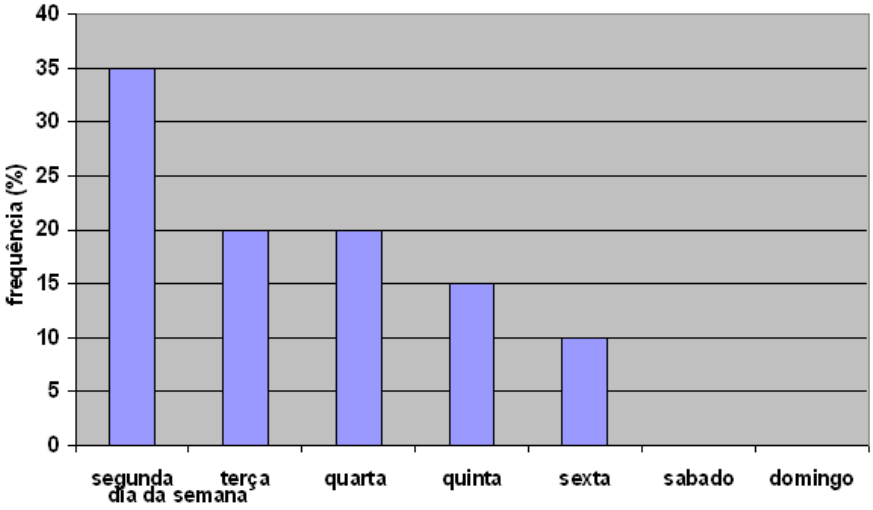


Figura 5 – Freqüência de ocorrência dos episódios estudados em relação aos dias da semana.

Outra hipótese levantada a partir do estudo da configuração espacial da distribuição das chuvas é de que umidade proveniente da circulação da brisa marítima é capaz de influenciar o padrão e a intensidade das chuvas na RMSP. Esta influência pôde ser observada em diversos eventos, tanto pela análise da seqüência de imagens do radar quanto pelos registros de dados do METAR (Meteorological Aerodrome Reports) de Congonhas.

Em relação aos dados de superfície fornecidos pelo METAR do aeródromo de Congonhas, fica notória a oscilação cíclica diária dos diversos elementos climáticos. Entre estes se destaca o regime de ventos que são indicativos da penetração da brisa marítima. Normalmente, ao longo do dia, há uma queda na umidade do ar devido ao aquecimento diurno da baixa troposfera. Esta umidade é recuperada a partir da tarde com a penetração da brisa marítima. O início da retomada da elevação da temperatura de ponto de orvalho comumente coincide com o registro da temperatura máxima do dia. Já o período de chuvas mais intensas é posterior a este período de aquecimento, habitualmente ocorre uma ou duas horas depois.

Devido a sua localização muito próxima ao mar, pois o centro da cidade de São Paulo dista cerca de quarenta e cinco quilômetros em linha reta do litoral, é comum durante algumas

horas no período da tarde, que o vento sopre do mar em direção a terra e atinja a área urbana da Grande São Paulo. Isto ocorre pela diferença de pressão entre os dois meios, pois a superfície da terra neste horário comumente apresenta temperaturas superiores às marítimas. Juntamente com o vento, são carreados a umidade marinha e sais higroscópicos. Estas alterações muitas vezes provocam aumento das precipitações. Na maioria das vezes em que esta brisa ficou caracterizada, ela penetrou no início da tarde, a partir das 14h00. Normalmente esta mudança nos ventos ocorre após um período de calmaria que dura uma ou duas horas. Na figura 6, onde estão relacionados todos os episódios que ocorreram com a presença de ventos dos quadrantes sul e sudeste, pode-se perceber que a maioria ocorreu no período da tarde, coincidindo com a entrada da brisa. Não se pode deixar de relevar que a brisa marítima também pode ser um fator atenuante das chuvas convectivas. Basta que para isso sua penetração ocorra antes do máximo aquecimento diurno, atenuando a incidência solar e desta forma, reduzindo a possibilidade da formação de chuvas convectivas. Portanto pode-se dizer que o papel da brisa como elemento indutor de chuvas convectivas dá-se primordialmente nas situações nas quais esta penetrou após o período máximo de aquecimento diurno.

Já para chuvas formadas a partir de nuvens estratiformes não ficam tão evidentes a abrangência da brisa marinha nem tampouco a influência do aquecimento urbano nas suas gêneses. Nestes casos, o que ficou mais evidenciado foi a ação orográfica resultante da ascensão forçada do ar nas rampas de relevo, como a Serra da Cantareira.

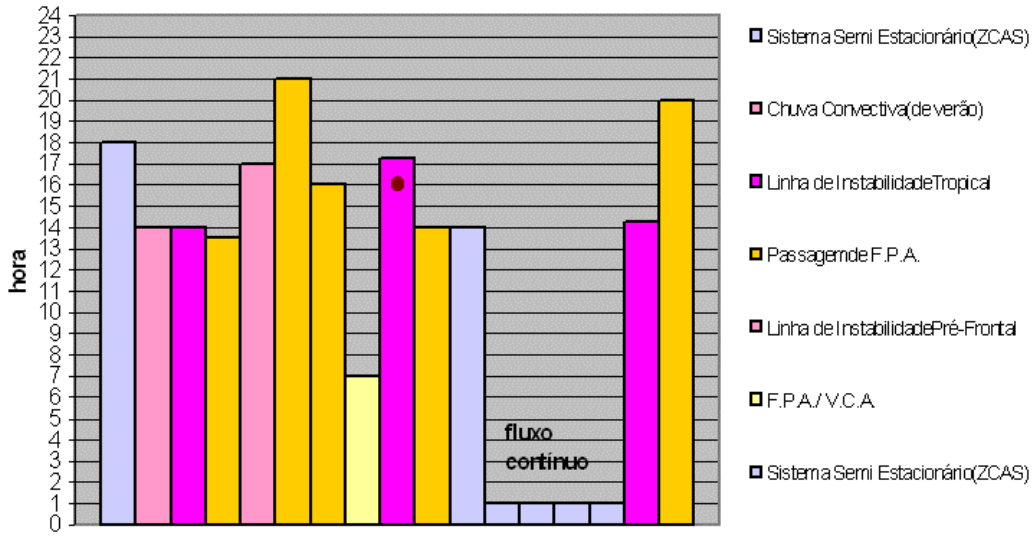


Figura 6 – Horário de inicio da precipitação nos eventos que ocorreram com a presença dos ventos S, SE e SSE. Fonte- METAR- Congonhas, 1991.

Situação semelhante a da brisa pode ocorrer em relação a influência da poluição atmosférica, notadamente as poeiras, na indução de chuvas. Embora o material particulado presente na troposfera inferior possa corroborar com a formação de núcleos de condensação, a sua presença pode, a exemplo das brisas, serem fatores atenuantes da incidência de radiação solar e, por conseguinte, do aquecimento diurno e das chuvas convectivas. Isto vai depender de outras características da atmosfera com a presença da inversão térmica, por exemplo. Porém, para que essas hipóteses pudessem ser confirmadas ou refutadas, seria necessária a existência de dados mais consistentes sobre a poluição na RMSP. Pode-se admitir, no entanto, que existe uma estreita relação entre o aumento da presença de poeiras e a concentração de chuvas (algumas horas depois ou no dia seguinte). Muitas vezes a concentração de poluentes dá-se em períodos de compressão atmosférica pré-frontal, ficando difícil de concluir se as chuvas seriam mais intensas com ou sem a presença desses poluentes atmosféricos. Quanto à concentração de poluentes, a maioria dos eventos estudados ocorreu no início da semana, principalmente nas segundas e terças-feiras. Não se deve considerar apenas uma coincidência que dos dezessete eventos

pluviais analisados cinqüenta e cinco por cento deles também tenham ocorrido nestes dias da semana.

Embora existam combinações infinitas entre os elementos capazes de atuar de um ano para outro ou mesmo durante um único evento pluvial, a análise das imagens de radar de 1989 até 1996 e também dos mapeamentos realizados a partir dos dados de superfície, permitem afirmar que o ano de 1991 constituiu-se num excelente parâmetro para a compreensão dos processos atmosféricos envolvidos na produção de chuvas intensas, durante o verão e parte do outono. Analisando-se períodos com situações rítmicas variadas, foi possível identificar seis grandes áreas cujas influências foram distintas na maioria dos episódios estudados e que estão representadas no Cartograma 3:

Área A – Nesta área as chuvas sofrem forte influência dos processos antrópicos. Corresponde a área que recebeu maior descarga pluvial na maioria dos episódios. É também a área mais edificada e urbanizada, com maior emissividade de energia e poluentes para a atmosfera e também onde ocorreram a maior parte das chuvas convectivas. Os fluxos provenientes de áreas de instabilidade formadas em outras porções da RMSP ou mesmo regiões adjacentes, geralmente são intensificadas quando a atingem. O aporte de umidade proveniente da área B também é fator significativo na intensificação das chuvas. Há de se considerar que outros núcleos urbanos espalhados pela RMSP, ou seja, outros climas urbanos locais podem influenciar na convecção dependendo das características apresentadas. No entanto, na escala de abordagem aqui considerada (sub-regional) não é possível identificar detalhes destas nuances.

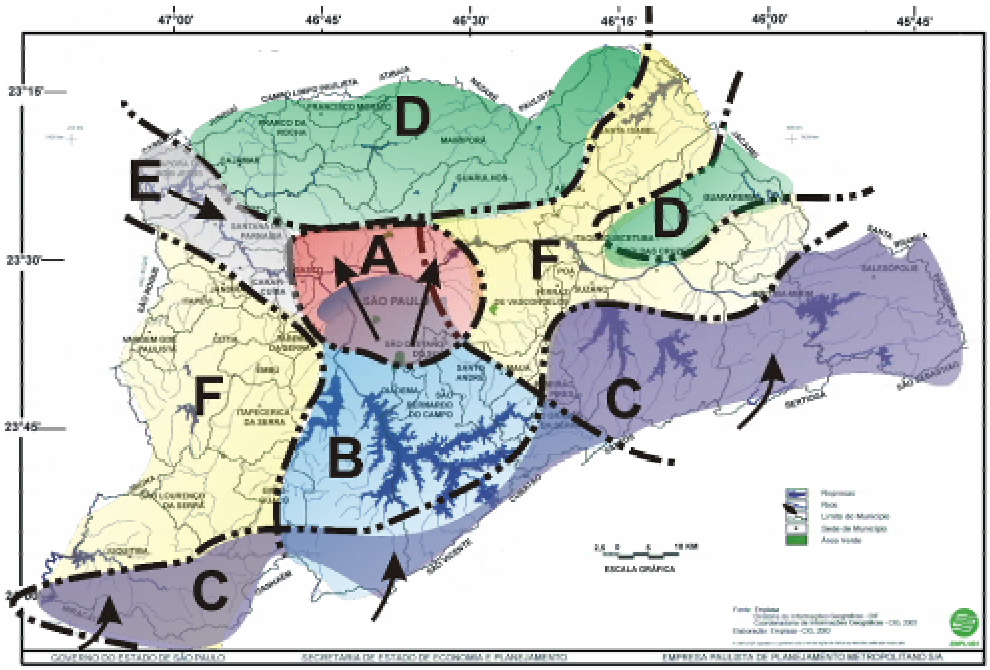
Área B - Corresponde a área mais influenciada pela circulação oceânica, em especial, pela penetração na baixa troposfera, da brisa marítima durante algumas horas, no período da tarde. Quando a brisa interage positivamente na produção de chuvas, ou seja, quando a brisa penetra posteriormente ao período de maior aquecimento diurno, há uma significativa contribuição desta área na produção de chuvas na área A.

Área C- Corresponde a área que sofre maior influência do efeito orográfico da Vertente Atlântica (Serra do Mar, S. do Quilombo, S. do Itapanhaú) identificada em alguns episódios concomitantemente a concentração de chuvas na área D.

Área D - Corresponde a área que se destaca na produção de chuvas orográficas, devido a presença das escarpas como a serra da Cantareira, ao norte ou do Itapetí a leste. Neste caso, o arrefecimento do ar com a altitude e queda no ponto de saturação provoca aumento da precipitação, principalmente no caso das chuvas formadas por nuvens estratiformes, como aquelas presentes em semi-estacionários atuantes. Durante o longo período predomínio da ZCAS nos dez últimos dias de março de 1991, por exemplo, destacaram-se estas características nas chuvas.

Área E - Corresponde ao estreito corredor formado ao longo do Rio Tietê à jusante da capital onde algumas vezes foram identificados fluxos provenientes de noroeste e oeste (Campinas e Sorocaba) uma vez que é uma área deprimida em relação as adjacentes. Foi possível identificar claramente esta característica no episódio de onze de março de 1991.

Área F - Corresponde principalmente as áreas à barlavento cujas imagens do radar acusaram quase sempre menor freqüência de precipitação. Em alguns episódios formaram-se sobre esta área, linhas de instabilidade, que se estenderam ao longo do vale do Alto Tietê até atingir também o vale do Paraíba como no caso de seis de fevereiro de 1991.



CARTOGRAMA 3- Principais áreas de influência na produção de episódios pluviais intensos no período entre 01 de janeiro e 30 de abril de 1991 na RMSP. Base: EMPLASA – Base digitalizada RMSP 1: 250.000, 2003.

LEGENDA

	A – Área caracterizada pela presença de episódios com forte influência da atividade antrópica;
	B – Área caracterizada pela presença de episódios com influência da brisa marítima que penetram até no centro da metrópole;
	C – Área caracterizada pela presença de episódios com influência do efeito orográfico sobre a Vertente Atlântica;
	D – Área caracterizada pela presença de episódios com influência do efeito orográfico nas áreas de alta declividade ao norte e leste;
	E – Área caracterizada pela entrada de linhas de instabilidades provenientes de oeste
	F – Áreas com menor freqüência de episódios pluviais intensos (morrarias à barlavento)

CONCLUSÃO

O Cartograma 3 não tem a pretensão de constituir-se modelo, mas sim uma tentativa de apresentar as tendências identificadas ao longo deste estudo. O que se pretendeu neste trabalho foi o de contribuir para uma melhor compreensão dos processos desencadeadores de chuvas intensas na RMSP através da utilização de diversos recursos e técnicas de abordagem.

A tentativa de buscar um sentido de organização no comportamento atmosférico aparentemente aleatório, levou à constatação de que mesmo em situações bastante distintas é possível identificar alguns padrões tendem a se repetir ao longo do tempo.

Pode-se dizer que para compreender melhor os fenômenos dinâmicos da atmosfera é preciso levar em conta a existência de diferentes níveis de complexidade. Um padrão mais complexo e mais caótico como o comportamento atmosférico em escala zonal e um padrão mais simples e mais ordenado como o da oscilação diária de temperatura, umidade e pressão na escala local combinam-se dando origem a situações rítmicas com maior ou menor variabilidade.

As imagens do Radar permitiram uma análise temporal e espacial do deslocamento dos núcleos de chuvas. Já análise dos boletins com dados horários do METAR de Congonhas, para o mesmo intervalo de tempo permitiram, quando associadas às imagens, identificar as continuidades ou perturbações no ritmo e suas possíveis causas.

Pretendeu-se desta forma contribuir para melhor conhecimento dos climas, dos ambientes urbanos e para uma compreensão dos processos climatológicos desencadeadores de enchentes.

REFERÊNCIAS

ALVES FILHO, A. P. As enchentes. In _: TARIFA, J. R., AZEVEDO, T. R. et.a. Os climas da cidade de São Paulo: teoria e prática. São Paulo: Coleção Novos Caminhos, n.4, Departamento de Geografia, F.F.L.C.H. - Universidade de São Paulo, 2001, p.95-111.

ALVES FILHO, A. P. Episódios pluviais intensos na região metropolitana de São Paulo: uma avaliação no decênio 1982-1991, São Paulo, 129p. 1996. Dissertação (Mestrado) Departamento de Geografia da F.F.L.C.H. Universidade de São Paulo.

ALVES FILHO, A. P. O ritmo climático e as enchentes de 1991 na região metropolitana de São Paulo: uma analise através do radar meteorológico. São Paulo, 2003. 295 p. + anexos. Tese (Doutorado) - FFLCH/USP

AZEVEDO, T. R. Distribuição espacial da ocorrência dos maiores totais diários de precipitação na RMSP e arredores em função da intensidade relativa da atividade urbana In_: GEOUSP – Espaço e Tempo, São Paulo, n.12,, 2002, p. 89-104.

CLIMANÁLISE. Boletim de monitoramento e análise climática. São Jose dos Campos: INPEC/CPTEC - Instituto de Pesquisas Espaciais / Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. v.6, n.1, n.2, n.3,n.4, n.5, n.6; 1991

CLIMANÁLISE. Boletim de monitoramento e análise climática. São Jose dos Campos: INPEC/CPTEC - Instituto de Pesquisas Espaciais / Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. v.10 n.2 , 1995

DIAS, P. L. S.; FREITAS, E. D. Interações entre ilha de calor urbana e a brisa marítima na Região Metropolitana de São Paulo. In_: Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu, 2002, p.2418-2424.

DIAS, P.L.S. et. al. Contribuições as chuvas de março de 1991 na região de São Paulo" , In_ : CLIMANÁLISE -Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista: CLIMANÁLISE v. 6, n.5, 1991

JAUREGUI E. O - El clima de la ciudad de México - "Temas selectos de Geografía de México". Ciudad de México: Plaza y Valdez - Instituto de Geografía UNAM, 1.ed., 2000, 131p.

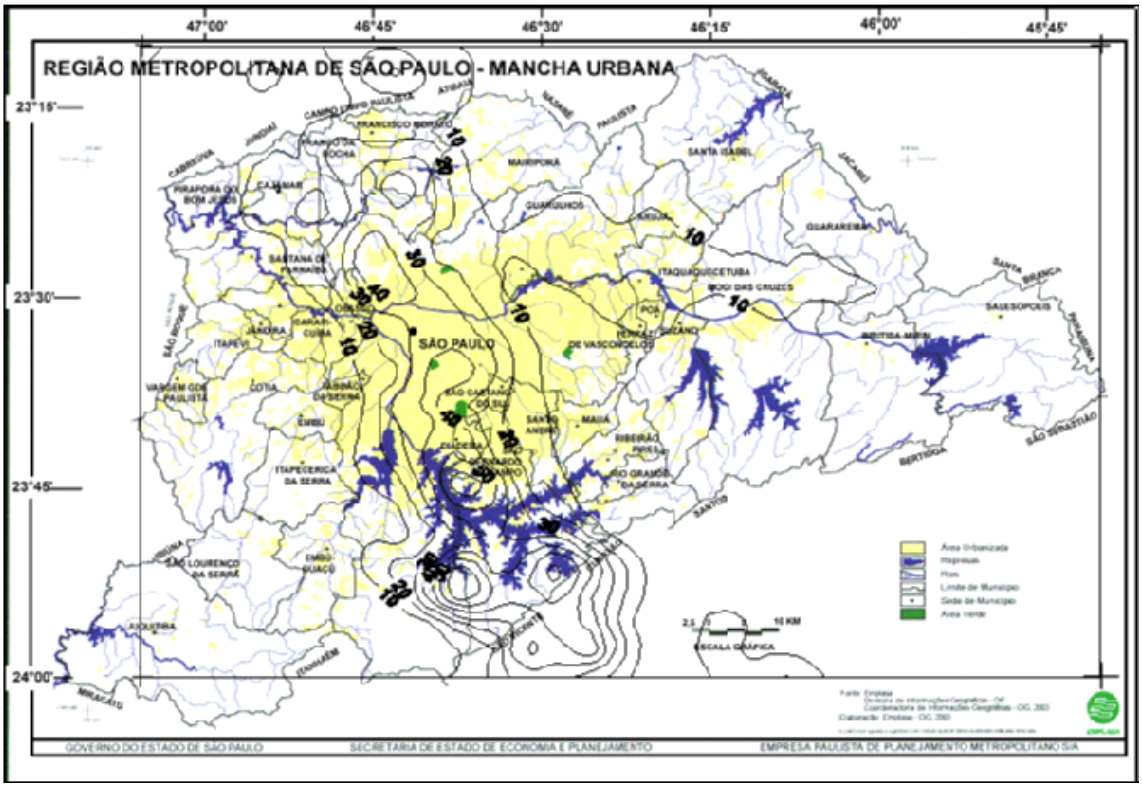
JAUREGUI E. O. & ROMALES, E. Urban Effects on Convective Precipitation in Mexico City In_: Atmospheric Environment, v. 30, n. 20, 1996, p. 3383-3389

MONTEIRO, C. A. F. Teoria e clima urbano In_: Instituto de Geografia, IGEOG-USP - Série Teses e Monografias, n. 25, São Paulo, 1976, 181 p.

RIBEIRO, H.Ilha de calor na cidade de São Paulo: sua dinâmica e efeitos na saúde da população.- s.n; 1996. 144 p. ilus, tab, mapas. Tese: Livre Docente.

VARGAS, H. C.; RIBEIRO, H. Novos instrumentos de gestão ambiental urbana - São Paulo; Edusp; 2001. 159 p.

ANEXOS



Cartograma 4 – Intensidade potencial de precipitação na RMSP, com a mancha urbana em destaque - Média entre as 17h33minh e as 18h33minh do dia 16/04/1991 (isolinhas de 10 mm/h em 10 mm/h) Fonte de dados pluviométricos: DAEE Base: EMPLASA – Base digitalizada RMSP 1: 250.000, 2003.

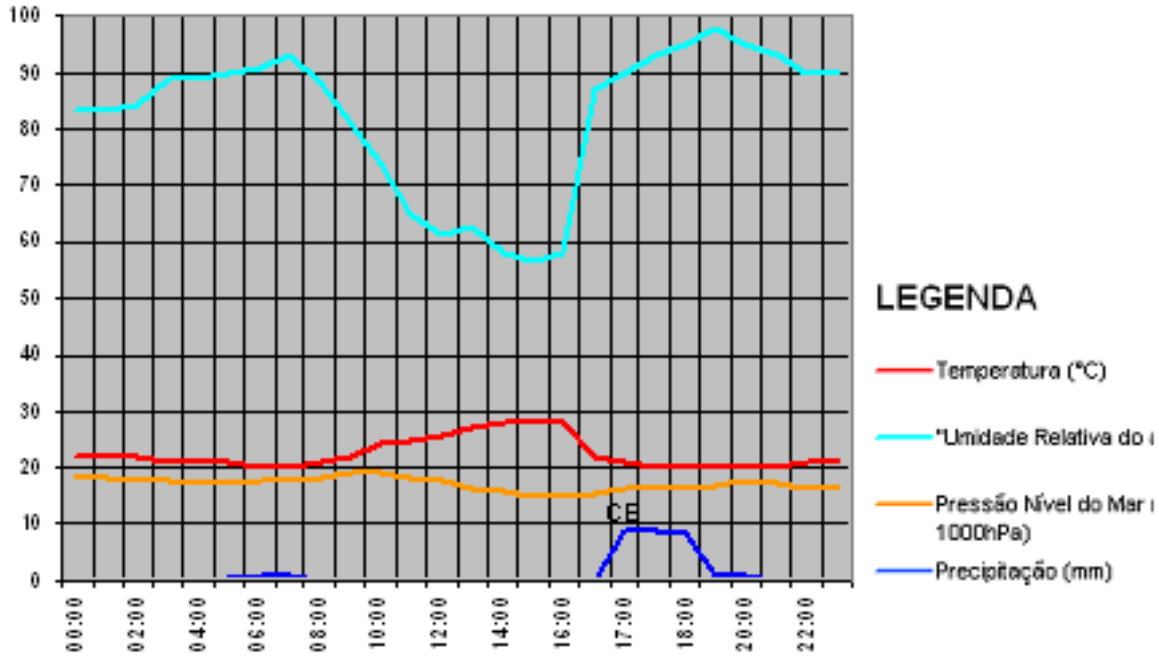


Figura 7 - Gráfica da variação de temperatura, pressão atmosférica, umidade relativa do ar e precipitação em 16 /04 1991 na Estação Meteorológica do Aeroporto de Congonhas - SSP.TCU-Towering Cumulus (Grande Cumulus/ Torre de Cúmulus) CB – Cumulununbus Fonte: Ministério da Aeronáutica . Divisão de Meteorologia Aeronáutica- (SBSP)

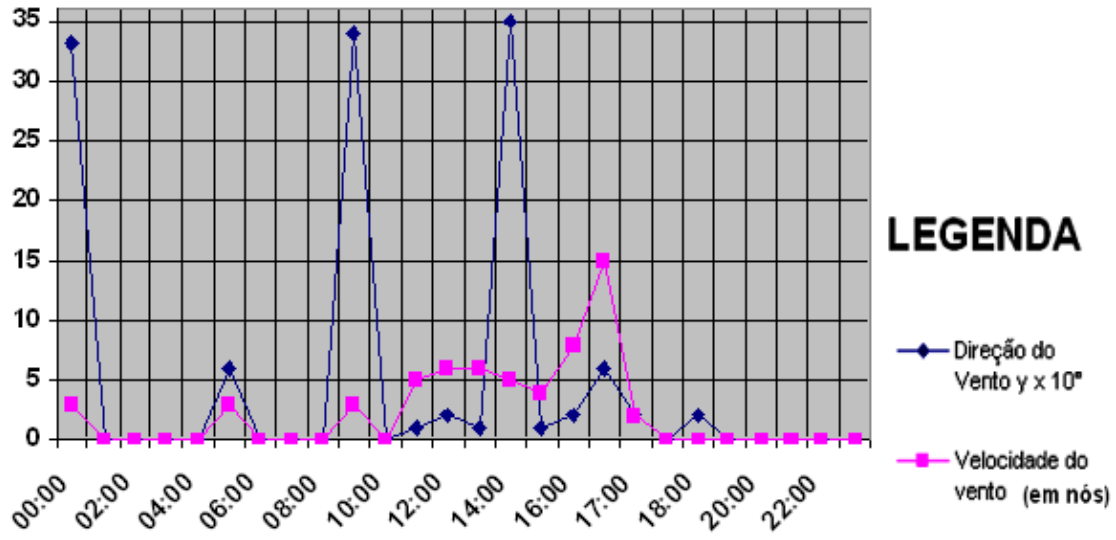


Figura 8- Variação da Velocidade e Direção do Vento no dia 16 /04/ 1991 na Estação Meteorológica do Aeroporto de Congonhas - SSP

Legenda

A direção do vento é dada a partir do Norte sendo assim:

360°- vento que sopra da direção Norte

180° - vento que sopra da direção Sul

315°- vento que sopra da direção NW

135°- vento que sopra da direção SE

270° - vento que sopra da direção Oeste

90°- vento que sopra da direção Leste

235°- vento que sopra da direção SO

45°- vento que sopra da direção NE